

МІНІМІЗАЦІЯ ТРАНСАКЦІЙНИХ ВИТРАТ У ЛОГІСТИЧНОМУ ПРОЦЕСІ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Мета статті полягає у створенні ефективної методики мінімізації експедиторських витрат у логістичному процесі вантажних перевезень на морському транспорті. У процесі дослідження застосовано загальнонаукові методи порівняння та аналізу (для добору суден для перевезення визначеного вантажу), а також спеціальні методи математичної однокритеріальної оптимізації при лінійній цільовій функції та обмеженнях (для мінімізації експедиторських витрат у логістичному процесі вантажних перевезень). Обґрунтовано математичну модель, яка дозволяє мінімізувати витрати морських перевезень в умовах заданого обсягу вантажів. Поставлене завдання не розв'язується стандартними оптимізаційними методами з лінійними обмеженнями та цільовою функцією, оскільки не враховує такі фактори, як-от: можливість перерозподілу кількості вантажу у випадку, якщо залишок вантажу, пропонованого до перевезення, не перевищує вантажопідйомності судна; пов'язаний із цим перерозподіл витрат; можливість багаторазового використання судна в схемі перевезення; вартість баластових переходів під час повернення суден у порти завантаження. Тому в статті запропоновано методичу вдосконалення методів оптимізації формально-евристичними методами розв'язку задач. Отримані результати дослідження можуть використовуватися транспортними, експедиторськими і логістичними компаніями під час перевезення вантажів морським транспортом.

***Ключові слова:** судноплавні компанії; трансакційні витрати; мінімізація транспортних витрат; міжнародні морські перевезення.*

Постановка проблеми. Актуальність теми зумовлена тією обставиною, що трансакційні витрати є суттєвою складовою кінцевої ціни продукції. Потрібно формувати оптимальні логістичні схеми доставки вантажів від виробника до одержувача за участю різних видів транспорту, при цьому оптимізувати як транспортні витрати, так і документообіг, пов'язаний з підготовкою й перевезенням вантажів, їх передачею, зберіганням, страхуванням і т. д., що забезпечують не самі вантажовласники, а їхні представники – експедитори.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми оптимізації логістики процесу експедирування розглянуті в працях Плужнікова К. І. [1], Панібратца Н. А., Сухоцького В. І. [2], Брухиса Б. Е. [3], Неруша Ю. М., Лозового Я. Д., Шабанова Б. В. [4].

Постановка завдання. Практичне завдання організації логістичного процесу є досить ємним і включає низку практичних завдань:

– оптимізація документообігу при експедируванні заданих вантажів;

- розробка маршрутів руху;
- вибір судів для здійснення перевезень заданих вантажів на основі транспортно-експлуатаційних характеристик суден і часу доставки вантажів;
- закріплення кожного судна за певним варіантом роботи;
- мінімізація вартості доставки вантажів.

Існуючий математичний апарат не завжди відповідає поставленим практичним завданням. Тому існує необхідність створення методик, які при використанні сучасного математичного апарата й комп'ютерної техніки, дозволять мінімізувати витрати в логістичному процесі перевезення на водному транспорті.

Метою статті є створення ефективної методики мінімізації експедиторських витрат у логістичному процесі вантажних перевезень на морському транспорті.

Виклад основного матеріалу. Математична модель завдання мінімізації експедиторських витрат у логістичному процесі вантажних перевезень на морському транспорті має такий вид:

$$\sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^{J_c} R_{cj} \cdot x_{cj} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^{J_c} q_{icj} \cdot x_{icj} \leq Q_i \quad (i = 1, I); \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{J_c} x_{cj} = 1 \quad (c = 1, C); \quad (3)$$

$$x_{cj} \in (0, 1), \quad (c=1, C; j=1, J_c), \quad (4)$$

де R_{cj} – витрати судна типу C по j -му варіанті роботи або витрати вантажовласника під час перевезення вантажу судном типу C на j -ій схемі; x_{cj} – параметр управління.

Цільова функція позначає таке закріплення суден по схемах роботи, яке забезпечує мінімальні витрати вантажовласника, пов'язані з доставкою вантажу до місця призначення. Обмеження (2) встановлює, що маса вантажу, перевезеного судами між портами, не може перевищувати його заявленої кількості. Обмеження (3) характеризує неприпустимість одночасного використання судна на декількох варіантах роботи.

Припустимо, необхідно розв'язати завдання мінімізації експедиторських витрат у логістичному процесі вантажних перевезень на морському транспорті для наступного вантажу:

- обладнання (27 000 т) на напрямку Маріуполь – Пирей;
- метал (29 000 т) на напрямку Керч – Генуя;
- зерно (30 000 т) на напрямку Маріуполь – Барселона.

Маршрути судів складаються з однієї, двох або декількох пар портів, між якими задається вантажопотік. У нашому випадку схеми вантажопотоків будуть виглядати в такий спосіб:

- 1) Маріуполь (навантаження обладнання) – Пирей (вивантаження);
- 2) Керч (навантаження металу) – Генуя (вивантаження);

3) Маріуполь (навантаження зерна) – Барселона (вивантаження);

4) Маріуполь (навантаження обладнання) – Керч (навантаження металу) – Пирей (вивантаження обладнання) – Генуя (вивантаження металу);

5) Маріуполь (навантаження обладнання зерно) – Пирей (вивантаження обладнання) – Барселона (вивантаження зерна);

6) Маріуполь (навантаження зерна) – Керч (навантаження металу) – Генуя (вивантаження металу) – Барселона (вивантаження зерна).

7) Маріуполь (навантаження обладнання зерно) – Керч (навантаження металу) – Пирей (вивантаження обладнання) – Генуя (вивантаження металу) – Барселона (вивантаження зерна).

Вибір судна здійснюється, насамперед, з урахуванням таких параметрів:

- час доставки вантажу;
- мінімум витрат на транспортування заданого вантажу.

Увесь вищевказаний вантаж є генеральним, отже, для перевезення обирається судно, призначене для перевезення генерального вантажу.

Величина вантажопідйомності судна впливає на рівень економічних показників роботи судна. За малої дальності перевезень і низьких норм перевантаження в портах перевалки краще використовувати судна меншої вантажопідйомності. Значення вантажопідйомності судна повинне бути ближчим до максимально припустимого за дальністю перевезення й середньою за нормами вантажних робіт, а також відповідати кількості представленого до перевезення вантажу. Орієнтовне значення вантажопідйомності судна в цьому випадку повинне становити більше 10 тис. т.

Для перевезення заданих вантажів між портами вибираються судна типу «Пула», «Вісті» і «Варнемюнде», техніко-експлуатаційні характеристики яких представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Техніко-економічні показники обраних суден

Показники	«Пула»	«Вісті»	«Варнемюнде»
Довжина максимальна, м	159,0	132,0	150,0
Ширина, м	21	20	22
Осадка максимальна, м	9,7	9,7	8,8
Вантажопідйомність, т	12300	11450	10137
Вантажомісткість, м ³	20370	20000	17037
Швидкість у вантажу, вузли	18,4	15	18
Швидкість у баласті, вузли	20,5	16	20
Дальність плавання, милі	19000	12600	12500
Витрати на утримання:			
На ходу, грн/добу	3486	4800	4762
На стоянці, грн/добу	2149	3200	4138

На схемах 1, 2 і 3, де судно перевозить однорідний «важкий» вантаж, завантаження судна визначається його вантажопідйомністю. Якщо судно завантажується різними вантажами (схеми 4, 5, 6 і 7), кількість кожного вантажу приймається пропорційно вантажопідйомності:

$$q_{icj} = \frac{Q_{ij}}{\sum_{j=1}^J Q_j} \cdot D_c, \quad (5)$$

де q_{icj} – завантаження судна типу C i -м вантажем на j -ій схемі руху.

Наприклад, кількість 1-го вантажу на 4-ій схемі становить для судна «Пула»:

$$Q_{114} = \frac{27000}{27000 + 29000} \cdot 12300 = 5930(\text{т}). \quad (6)$$

Кількість 2-го вантажу на 4-ій схемі судна «Пула» становить:

$$Q_{214} = \frac{29000}{27000 + 29000} \cdot 12300 = 6370(\text{т}). \quad (7)$$

Таким чином, на судно «Пула» може бути завантажено 5930 т обладнання і 6370 т металу. Тоді загальне завантаження судна становить: $Q = 5930 + 6370 = 12300$ т.

Витрати вантажовласника на перевезення вантажу становлять:

$$R_{cj} = r_j \cdot Q_{icj}, \quad (8)$$

де R_{cj} – витрати вантажовласника;

r_{cj} – тарифна ставка за перевезення i -го вантажу;

Q_{icj} – завантаження судна типу C i -м вантажем на j -ій схемі руху.

Тарифна ставка на перевезення однієї тонни вантажу вибиралася з даних, представлених у прейскуранті № 11-03.

1. Ставка для встаткування, перевезеного з Маріуполя в Пирей, становить 14,95 \$/т.

2. Ставка для металу, перевезеного з Керчі в Геную, становить 22,90 \$/т.

3. Ставка для зерна, перевезеного з Маріуполя в Барселону, становить 19,24 \$/т.

Розраховувалися витрати вантажовласника під час транспортування вантажів. Так, наприклад, витрати вантажовласника на 7-ій схемі руху для судна «Пула» становлять:

$$R_{17} = 14,95 \cdot 3862 + 22,90 \cdot 4148 + 19,24 \cdot 4291 = 235266(\$).$$

Значення витрат по схемах руху зазначені в табл. 2.

Таблиця 2

Витрати вантажовласника при транспортуванні вантажів

«Пула»						
Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5	Схема 6	Схема 7
12300	0	0	5930	5826	0	3862
0	12300	0	6370	0	6046	4148
0	0	12300	0	6474	6254	4291
183885	281670	236652	234524	211657	258779	235266
Середнє значення:	234633					
«Вісті»						
Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5	Схема 6	Схема 7
11450	0	0	5521	5424	0	3595
0	11450	0	5929	0	5628	3861
0	0	11450	0	6026	5822	3994
171178	262205	220298	218317	197030	240896	219008
Середнє значення:	218419					
«Варнемонде»						
Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5	Схема 6	Схема 7
10137	0	0	4887	4802	0	3183
0	10137	0	5250	0	4983	3418
0	0	10137	0	5335	5154	3536
151548	232137	195036	193282	174436	213272	193894
Середнє значення:	193372					

Кожне судно повинне бути закріплене за певним маршрутом руху таким чином, щоб у підсумку забезпечити вантажовласникові мінімальні витрати. При цьому маса вантажу, перевезеного між двома портами, не повинна перевищувати його заявленої кількості. Необхідно також врахувати, що одночасне використання судна на декількох варіантах роботи неприпустиме.

Послідовність розгляду судів залежить від значення \bar{R}_c :

$$\bar{R}_c = \frac{1}{J_c} \cdot \sum_{j=1}^{J_c} R_{cj}, \quad (9)$$

де \bar{R}_c – середні витрати кожного із судів за всіма варіантами схем;

Цільова функція:

$$R_{11}x_{11} + R_{12}x_{12} + R_{13}x_{13} + R_{14}x_{14} + R_{15}x_{15} + R_{16}x_{16} + R_{17}x_{17} + R_{21}x_{21} + R_{22}x_{22} + R_{23}x_{23} + R_{24}x_{24} + R_{25}x_{25} + R_{26}x_{26} + R_{27}x_{27} + R_{31}x_{31} + R_{32}x_{32} + R_{33}x_{33} + R_{34}x_{34} + R_{35}x_{35} + R_{36}x_{36} + R_{37}x_{37} \longrightarrow \min;$$

J_c – кількість схем руху;

R_{cj} – витрати на доставку вантажу судном типу 3 на j -ім маршруті.

Середні витрати R_c розташуємо в порядку спадання: $R_3 \leq R_2 \leq R_1$. Після упорядкування середніх значень витрат від робіт цих суден, одержуємо таку нерівність:

$$193372 < 218419 < 246842.$$

Далі для кожного судна варіанти їхніх робіт розташуємо в аналогічній послідовності. Перший варіант забезпечує мінімальні витрати вантажовласника на перевезення вантажів, а останній – максимальні витрати.

Запишемо математичну модель у координатній формі:

Обмеження:

$$q_{111}x_{11} + q_{112}x_{12} + q_{113}x_{13} + q_{114}x_{14} + q_{115}x_{15} + q_{116}x_{16} + q_{117}x_{17} + q_{121}x_{21} + q_{122}x_{22} + q_{123}x_{23} + q_{124}x_{24} + q_{125}x_{25} + q_{126}x_{26} + q_{127}x_{27} + q_{131}x_{31} + q_{132}x_{32} + q_{133}x_{33} + q_{134}x_{34} + q_{135}x_{35} + q_{136}x_{36} + q_{137}x_{37} \leq Q_1;$$

$$q_{211}x_{11} + q_{212}x_{12} + q_{213}x_{13} + q_{214}x_{14} + q_{215}x_{15} + q_{216}x_{16} + q_{217}x_{17} + q_{221}x_{21} + q_{222}x_{22} + q_{223}x_{23} + q_{224}x_{24} + q_{225}x_{25} + q_{226}x_{26} + q_{227}x_{27} + q_{231}x_{31} + q_{232}x_{32} + q_{233}x_{33} + q_{234}x_{34} + q_{235}x_{35} + q_{236}x_{36} + q_{237}x_{37} \leq Q_2;$$

$$q_{311}x_{11} + q_{312}x_{12} + q_{313}x_{13} + q_{314}x_{14} + q_{315}x_{15} + q_{316}x_{16} + q_{317}x_{17} + q_{321}x_{21} + q_{322}x_{22} + q_{323}x_{23} + q_{324}x_{24} + q_{325}x_{25} + q_{326}x_{26} + q_{327}x_{27} + q_{331}x_{31} + q_{332}x_{32} + q_{333}x_{33} + q_{334}x_{34} + q_{335}x_{35} + q_{336}x_{36} + q_{337}x_{37} \leq Q_3;$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} = 1;$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} = 1;$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1.$$

Математична модель з числовими вираженнями:

Цільова функція:

$$183885x_{11} + 281670x_{12} + 236652x_{13} + 234524x_{14} + 211655x_{15} + 258779x_{16} + 235266x_{17} + 171178x_{21} + 262205x_{22} + 220298x_{23} + 218317x_{24} + 197030x_{25} + 240896x_{26} + 219008x_{27} + 151548x_{31} + 232137x_{32} + 195036x_{33} + 193282x_{34} + 174436x_{35} + 213272x_{36} + 193894x_{37} \rightarrow \min;$$

Обмеження:

$$12300x_{11} + 5930x_{14} + 5826x_{15} + 3862x_{17} + 11450x_{21} + 5521x_{24} + 5424x_{25} + 3595x_{27} + 10137x_{31} + 4887x_{34} + 4802x_{35} + 3183x_{37} \leq 27000;$$

$$12300x_{12} + 6370x_{14} + 6046x_{16} + 4148x_{17} + 11450x_{22} + 5929x_{24} + 5628x_{26} + 3861x_{27} + 10137x_{32} + 5250x_{34} + 4983x_{36} + 3418x_{37} \leq 29000;$$

$$12300x_{13} + 6474x_{15} + 6254x_{16} + 4291x_{17} + 11450x_{23} + 6026x_{25} + 5822x_{26} + 3994x_{27} + 10137x_{33} + 5335x_{35} + 5154x_{36} + 3536x_{37} \leq 30000;$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} = 1;$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} = 1;$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1;$$

(10)

$$x_{cj} = \{0; 1\}; \quad C = 1, 2, 3; \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.$$

Результати рекомендується заносити в зведену таблицю (табл. 3). У двох початкових рядках таблиці вказувалися судна і варіанти їхньої роботи згідно з пріоритетними рядами. В останньому

рядку вказувалися витрати вантажовласника, відповідні таким рядам. Нижня частина таблиці містить кількість вантажів, перевезених між портами, призначених для перевезення.

Таблиця 3

Закріплення судів за варіантами робіт (1-й етап)

Вантаж	«Варнемонде»						
	Схема 1	Схема 5	Схема 4	Схема 7	Схема 3	Схема 6	Схема 2
Обладнання	10137	4802	4887	3183	0	0	0
Метал	0	0	5250	3418	0	4983	10137
Зерно	0	5335	0	3536	10137	5154	0
Витрати	151548	174436	193282	193894	195036	213272	232137
Середні витрати	193372						
«Вісті»							
	Схема 1	Схема 5	Схема 4	Схема 7	Схема 3	Схема 6	Схема 2
Обладнання	11450	5424	5521	3595	0	0	0
Метал	0	0	5929	3861	0	5628	11450
Зерно	0	6026	0	3994	11450	5822	0
Витрати	171178	197030	218317	219008	220298	240896	262205
Середні витрати	218419						
«Пула»							
	Схема 1	Схема 5	Схема 4	Схема 7	Схема 3	Схема 6	Схема 2
Обладнання	12300	5826	5930	3862	0	0	0
Метал	0	0	6370	4148	0	6046	12300
Зерно	0	6474	0	4291	12300	6254	0
Витрати	183885	211657	234524	235266	236652	258779	281670
Середні витрати	234633						

Стандартні засоби розв'язку оптимізаційних задач (наприклад, «Пошук розв'язку» – Solver, що входить у пакет Microsoft Office) у цьому випадку

не дають оптимальних результатів через недостатність обмежень математичної моделі (10). Так, в обмеженнях моделі не враховано:

1) можливість перерозподілу кількості вантажу у випадку, якщо залишок вантажу, пропонованого до перевезення, не перевищує вантажопідйомності судна;

2) пов'язаний із цим перерозподіл витрат;

3) можливість багаторазового використання судна в схемі перевезення;

4) вартості баластових переходів при поверненні суден у порти завантаження.

У зв'язку із цим далі використовувався формально-евристичний метод розв'язку задач.

Судно «Варнемюнде» закріплюємо за 1-ю схемою роботи, при цьому витрати вантажовласника становлять 151548 \$. Судно «Вісті» також буде працювати за 1-ю схемою, і при цьому вартість перевезення вантажу складе 171178 \$. Судно

«Пула» закріпимо за 5-им варіантом і, тому що залишок першого вантажу (обладнання) становить $27000 - 10137 - 11450 = 5413$ (т), можна перерахувати завантаження судна. Вантажопідйомність судна «Пула» становить 12300 т, отже, завантаження судна обладнанням складе 5413 т, а зерном – $12300 - 5413 = 6887$ т. Витрати на перевезення вантажів судном «Пула» дорівнюють: $5413 \cdot 14,95 + 6887 \cdot 19,24 = 213430$ \$. Загальні витрати вантажовласника складають: $151549 + 171178 + 213430 = 536156$ \$.

Залишок вантажу: 29000 т металу і 23113 т зерна.

Залишок вантажу, пред'явленого до перевезення, зазначений у табл. 4.

Таблиця 4

Залишок вантажу (перший етап)

Кількість вантажу, Qi	Q ₁	Q ₂	Q ₃
Маріуполь – Пірей (обладнання)	16863	5413	0
Керч – Генуя (метал)	29000	29000	29000
Маріуполь – Барселона (зерно)	30000	30000	23113

Заданий вантажопотік на цих схемах не може бути освоєний, тому що загальна кількість вантажу, пред'явленого до перевезення, перевищує сумарну вантажопідйомність обраних судів.

Для вивозу вантажу, що залишився, скористаємося такими схемами руху, на яких завантаження першим вантажем (обладнання) дорівнює 0. Це схеми 2, 3 і 6.

Судна, що працюють за цими схемами, будуть змушені зробити баластні переходи з портів вивантаження в порти навантаження:

1. Пірей – Маріуполь (схема 1): відстань становить 883 милі;

2. Барселона – Маріуполь (схема 5): відстань становить 2037 миль.

Час баластних переходів складе:

$$T_X^6 = \frac{L_6}{V_6}, \quad (11)$$

де L_6 – довжина баластного переходу, милі; V_6 – експлуатаційна швидкість порожнього судна, вузли.

Розрахунки для баластного переходу судна «Пула» зазначено нижче:

$$T_X^6 = \frac{883}{24 \cdot 20,5} = 1,79(\text{сут.}) \quad (12)$$

Визначимо витрати судна під час баластного переходу:

$$R_C^6 = T_X^6 \cdot C_X, \quad (13)$$

де T_X^6 – час баластного переходу, діб;

C_X – витрати судна на ходу, грн/діб.

$R_C^6 = 1,79 \cdot 3486 = 6256$ грн = 1227 \$.

Аналогічно, час баластного переходу судна «Вісті» становить 2,30 діб; при цьому експлуатаційні витрати судна під час баластного переходу склали 1572 \$. Час баластного переходу судна «Варнемюнде» становить 4,24 діб; при цьому експлуатаційні витрати судна під час баластного переходу склали 2901 \$.

Результати розрахунків зведено в табл. 5.

Таблиця 5

Витрати флоту під час баластного переходу

Судно	Час баластного переходу, діб	Вартість утримання судна на ходу, грн/діб	Витрати на баластовий перехід, \$
«Варнемюнде»	4,24	4762	2901
«Вісті»	2,30	4800	1572
«Пула»	1,79	3486	1227

Далі визначалися загальні ходові витрати суден з урахуванням баластного переходу. Вони дорівнюють сумі витрат, пов'язаних з перевезенням вантажів, і

витрат на баластний перехід. Витрати вантажовласника збільшилися, будувалася нова таблиця (табл. 6) закріплення суден за варіантами робіт.

Таблиця 6

Закріплення суден за схемами руху (другий етап)

Вантаж	Варнемонде			Вісті			Пула		
	Схема 3	Схема 6	Схема 2	Схема 3	Схема 6	Схема 2	Схема 3	Схема 6	Схема 2
Обладнання	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Метал	0	4983	10137	0	5628	11450	0	6046	12300
Зерно	10137	5154	0	11450	5822	0	12300	6254	0
Витрати	196293	214530	233395	221870	242468	263777	239482	261609	284500
Середні витрати	214739			242705			261864		

Середні витрати R_c розташуємо в порядку спадання: $R_3 \leq R_2 \leq R_1$. Після упорядкування середніх значень витрат від робіт цих суден, одержуємо нижченаведену нерівність:

$$214739 \leq 242705 \leq 261864.$$

Математична модель задачі із числовими даними має вигляд:

Цільова функція:

$$284500x_{12} + 239482x_{13} + 261609x_{16} + 263777x_{22} + 221870x_{23} + 242468x_{26} + 233395x_{32} + 196293x_{33} + 214530x_{36} \rightarrow \min. \quad (14)$$

Обмеження:

$$12300x_{12} + 6046x_{16} + 11450x_{22} + 5628x_{26} + 10137x_{32} + 4983x_{36} \leq 29000;$$

$$12300x_{13} + 6254x_{16} + 10137x_{23} + 5154x_{26} + 11450x_{33} + 5822x_{36} \leq 23113; \quad (15)$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} = 1;$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} = 1; \quad (16)$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 1.$$

Судно «Варнемонде» закріплюємо за 3-ю схемою роботи; при цьому витрати вантажовласника становлять 196293 \$. Судно «Вісті» також буде працювати з 3-ю схемою, і при цьому вартість перевезення вантажу складе 221870 \$. Судно «Пула» закріпимо за 6-им варіантом і, оскільки залишок третього вантажу (зерна) становить $23113 - 10137 - 11450 = 1526$ (т), можна перерахувати завантаження судна. Вантажопідйомність судна

«Пула» становить 12300 т, отже, завантаження судна зерном складе 1526 т, а металом – $12300 - 1526 = 10774$ т. Витрати на перевезення вантажів судном «Пула» дорівнюють: $1526 \cdot 14,95 + 10774 \cdot 19,24 = 276085$ \$. Загальні витрати на цьому етапі складають: $196293 + 221870 + 276085 = 694248$ \$.

Залишок вантажу: $29000 - 10774 = 18226$ т металу.

Залишок вантажу, пред'явленого до перевезення, зазначений у табл. 7.

Таблиця 7

Залишок вантажу (другий етап)

Кількість вантажу, Q_i	Q_1	Q_2	Q_3
Маріуполь – Пірей (обладнання)	0	0	0
Керч – Генуя (метал)	29000	29000	18226
Маріуполь – Барселона (зерно)	12976	1526	0

За даними табл. 7 з'ясовано, що на другому етапі освоєний не весь вантажопотік. У залишку

перебувають 18226 т металу. Результати розрахунків витрат на баластні переходи зведено в табл. 8.

Таблиця 8

Витрати вантажовласника під час баластного переходу після другого етапу

Судно	Час баластного переходу, діб	Вартість утримання судна на ходу, грн/діб	Витрати на баластний перехід, \$
«Варнемонде»	4,24	4762	2901
«Вісті»	5,30	4800	3626
«Пула»	4,14	3486	2830

Далі визначалися загальні ходові витрати суден з урахуванням баластного переходу. Вони дорівнюють сумі витрат, пов'язаних з перевезенням вантажів, і

витрат на баластний перехід. Будувалася нова таблиця (табл. 9) закріплення суден за варіантами робіт.

Таблиця 9

Закріплення суден за схемами руху (третій етап)

Вантаж	Варнемонде	Вісті	Пула
	Схема 2	Схема 2	Схема 2
Обладнання	0	0	0
Метал	10137	11450	12300
Зерно	0	0	0
Витрати	236295	267403	287330

На третьому етапі судно «Варнемонде» закріплюється за 2-ою схемою, вартість перевезення складає 236295 \$, залишок вантажу становить $18226 - 10137 = 8089$ т. Судно «Вісті» також закріплюється за 2-ою схемою, але завантаження судна зміниться відповідно до залишку вантажу – 8089 т. Витрати на перевезення судна «Вісті» склали $8089 \times 22,90 = 185238$ \$. Вартість витрат на цьому етапі склали: $236295 + 185238 = 421534$ \$.

У зв'язку з неможливістю перевезення заданої кількості вантажу за один рейс освоєння всього вантажопотоку було розбито на три етапи. На другому і третьому етапах витрати вантажовласника на доставку вантажу містили витрати судна під час баластових переходів. Загальні ж витрати судна вантажовласника на доставку вантажу склали:

$$R_{\text{общ}} = 536156 + 694248 + 421534 = 1651937 \$.$$

Висновки та перспективи подальших досліджень. Транзакційні витрати є суттєвою складовою кінцевої ціни продукції, тому їх мінімізація є суттєвою складовою забезпечення конкуренто-спроможності товарів. Суттєвою частиною таких витрат є транспортні витрати, особливо під час міжнародних перевезень. У цій статті запропоновано методика мінімізації витрат під час морських перевезень в умовах заданого обсягу вантажів.

Методика полягає в тому, що на підставі техніко-експлуатаційних показників представлених суден, а також враховуючи час доставки вантажу й дальність

перевезення, було обрано три типи судна. Схеми розміщення суден будувалися таким чином, щоб витрати вантажовласника були найменшими.

Оскільки в математичних обмеженнях моделі задачі мінімізації транспортних витрат не враховані такі фактори, то її розв'язок відомими оптимізаційними алгоритмами не можливий:

1) можливість перерозподілу кількості вантажу у випадку, якщо залишок вантажу, пропонованого до перевезення, не перевищує вантажопідйомності судна;

2) пов'язаний із цим перерозподіл витрат;

3) можливість багаторазового використання судна в схемі перевезення;

4) вартість баластових переходів під час повернення суден у порти завантаження.

У зв'язку із цим використовувався формально-евристичний метод розв'язку задач.

Оскільки кількість пред'явленого до перевезення вантажу не збігалася із загальною вантажо-підйомністю флоту, робота флоту розбивалася на кілька етапів, які передбачали первинну розстановку транспортних засобів з поступовим коригуванням обсягів перевезень і введенням баластних переходів.

Таким чином, освоєння всього вантажопотоку було розбито на три етапи. На другому й третьому етапах видатки вантажовласника на доставку вантажу містили витрати судна під час баластних переходів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Плузников К. И. Транспортное экспедирование / К. И. Плузников – М. : РосКонсульт, 2009. – 576 с.
2. Панибратец Н. А. Организация коммерческой работы на морском транспорте / Н. А. Панибратец, В. И. Сухоцкий. – М. : Транспорт, 2001. – 248 с.
3. Брухис Б. Е. Транспортно-экспедиторская работа морских портов / Б. Е. Брухис. – М. : Транспорт, 2002. – 95 с.
4. Неруш Ю. М. Грузовые перевозки и тарифы / Ю. М. Неруш, Я. Д. Лозовой, Б. В. Шабанов. – М. : Транспорт, 2008. – 287 с.

Н. М. Ищенко,

Черноморский государственный университет имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина

МИНИМИЗАЦИЯ ТРАНСАКЦИОННЫХ ЗАТРАТ В ЛОГИСТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Цель статьи заключается в создании эффективной методики минимизации экспедиторских затрат в логистическом процессе грузовых перевозок на морском транспорте. В процессе исследования применены общенаучные методы сравнения и анализа (для подбора судов для перевозки заданного груза), а также специальные методы математической однокритериальной при оптимизации линейной целевой функции и ограничениях (для минимизации экспедиторских затрат в логистическом процессе грузовых перевозок). Математическая модель позволяет минимизировать затраты при морских перевозках в условиях заданного объема грузов. Поставленная задача не решается стандартными оптимизационными методами с линейными ограничениями и целевой функцией, поскольку не учитывает такие факторы: возможность перераспределения количества груза в случае, если остаток груза, предлагаемого к перевозке, не превышает грузоподъемности судна; связанное с этим перераспределение расходов; возможность многократного использования судна в схеме перевозки; стоимости балластных переходов при возвращении судов в порты погрузки. Поэтому в статье предложена методика совершенствования методов оптимизации формально-эвристическими методами решения задач. Полученные результаты

исследования могут использоваться транспортными, экспедиторскими и логистическими компаниями при перевозке грузов морским транспортом.

Ключевые слова: судоходные компании; транзакционные издержки; минимизация транспортных расходов; международные морские перевозки.

N. M. Ishchenko,

Petro Mohyla Black Sea State University, Mykolayiv, Ukraine

MINIMIZATION OF TRANSACTION COSTS IN THE LOGISTICS PROCESS\ OF INTERNATIONAL FREIGHT ON MARITIME TRANSPORT

Purpose of this article is to create an effective method of minimizing of forwarding costs in the logistics process of freight transport on sea transport.

Methodology of research. In the research process the next scientific methods are applied – comparison and analysis (for the selection of vessels for the transport of specified goods), as well as special methods of mathematical one-criteria optimization of a linear objective function and constraints (to minimize the forwarding costs in the logistics process of cargo transportation).

Results. The mathematical model allows to minimize costs during shipping in the conditions specified volume of cargo.

Findings. The task is not solved with standard optimization methods with linear constraints and objective function, since it does not take into account the following factors: the possibility of redistribution of cargo quantity in case the rest of the cargo offered for shipment does not exceed the carrying capacity of the vessel; related relocation costs; reusability of the vessel in the scheme of transportation; cost of ballast transitions in the return of the vessels in the ports of loading. Therefore, the paper proposes a method of improving optimization methods by formal heuristic methods of solving problems.

Practical value. The research results can be used for transport, forwarding and logistics companies for the carriage of goods by sea transport.

Keywords: the navigable companies; transaction costs; minimisation of a cost of transportation; the international marine transportations.

Рецензенти: *Горлачук В. В.*, д. е. н., професор;
Якубовський С. О., д. е. н., професор.